

## NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA DÂY BÙ ĐẾN TỔ CHỨC VÀ ĐỘ CỨNG MỐI HÀN GIỮA Ti VÀ TiAl6V4

### INFLUENCE OF SOLDER WIRE ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF WELDING JOINT BETWEEN Ti AND TiAl6V4

NGUYỄN ANH XUÂN

Phòng Đào tạo, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: [nguyennanhxuan@vamaru.edu.vn](mailto:nguyennanhxuan@vamaru.edu.vn)

#### Tóm tắt

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của dây bù đến tổ chức và độ cứng của mối hàn giữa Ti và hợp kim TiAl6V4 sử dụng hai loại điện cực khác nhau. Titan và hợp kim TiAl6V4 là những vật liệu có vai trò quan trọng trong ngành hàng hải nói chung và công nghiệp tàu thủy nói riêng, cũng như trong ngành công nghiệp hàng không vũ trụ, hóa chất, y tế,... Kết quả thu được cho thấy, ở cả hai trường hợp, kích thước hạt của các pha trong vùng kim loại mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) đều thô hơn so với vùng kim loại cơ bản. Bằng phương pháp phân tích quang học, SEM, EDS và XRD đã tìm thấy pha Widmanstatten pha liên kim Ti3Al7 trong vùng kim loại mối hàn khi sử dụng dây bù TiAl6V4. Độ cứng lớn nhất trong cả hai trường hợp đo được tại vùng kim loại mối hàn. Tuy nhiên, khi sử dụng dây bù Ti thì độ cứng giữa các vùng đồng đều hơn so với dây bù TiAl6V4.

**Từ khóa:** Tổ chức, mối hàn, dây hàn.

#### Abstract

This paper presents the research results on the influence of solder wire on the microstructure and hardness of the weld between Ti and TiAl6V4 alloy. Titanium and TiAl6V4 alloys are important materials in the marine and shipbuilding industry, as well as in the aerospace, chemical, medical,... The results show that: with both types of solder wire for the microstructure of the weld region, the grain size of the HAZ regions of these two regions is coarse compared with the base metal. The microstructure in the center of the weld when using the TiAl6V4's solder wire is the widmanstatten phase; In addition, by SEM, EDS, and XRD analysis, the Ti3Al7 intermetallic phase was identified in the weld. Maximum hardness measured in the molten metal region. Using Ti, the difference in hardness is less,

creating uniformity in mechanical properties.

**Keywords:** Microstructure, welding joint, solder wire.

#### 1. Mở đầu

Titan và hợp kim TiAl6V4 có độ bền cao, trọng lượng nhẹ và khả năng chống ăn mòn tốt, do đó chúng được sử dụng rộng rãi trong các ngành hàng hải, hàng không vũ trụ, hóa chất, y tế,... [1], [2], [3]-[5]. Khi xét về tính hàn, Titan và hợp kim TiAl6V4 đều hàn được trong môi trường khí trơ bảo vệ. Tuy nhiên, dưới ảnh hưởng của nguồn nhiệt, nhiệt độ tối đa tại các điểm và tốc độ nguội sẽ hình thành các vùng có tổ chức, tính chất khác nhau trong mối hàn. Đặc biệt khi hàn hai vật liệu khác loại, các yêu cầu khi hàn sẽ khó khăn hơn và sự biến đổi tổ chức cũng phức tạp hơn so với khi hàn hai vật liệu cùng loại.

Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, kỹ thuật hàn Titan và hợp kim Titan ngày càng phát triển. Phạm vi nghiên cứu liên quan đến nhóm đối tượng này đã được mở rộng với nhiều mục đích khác nhau, trong đó có thể quy về ba hướng chính: (i) tìm kiếm phương pháp hàn tối ưu; (ii) phân tích sự thay đổi tổ chức và hình thành các pha trong liên kết hàn; (iii) tìm kiếm chế độ xử lý nhiệt sau khi hàn nhằm giảm ứng suất và nâng cao chất lượng mối hàn [6]-[9].

Hiện nay, các phương pháp hàn nóng chảy được sử dụng trong hàn Titan và hợp kim Titan gồm hàn hồ quang điện cực không nóng chảy dưới khí bảo vệ (GTAW), hàn hồ quang điện cực nóng chảy dưới khí bảo vệ (GMAW), hàn hồ quang plasma (PAW), hàn tia lazer (LBW) và hàn chùm tia điện tử (EBW) [7], [10], [11]. Điểm khác nhau cơ bản giữa các phương pháp hàn là nguồn nhiệt cung cấp vào mối hàn. Cụ thể, quy trình hàn EBW và LBW thường có nguồn nhiệt đầu vào thấp, trong khi phương pháp hàn GTAW và GMAW có nguồn nhiệt lớn hơn, do đó tổ chức và độ cứng mối hàn cũng khác nhau [8], [12], [13].

Trong nghiên cứu của Wei Zhou cùng cộng sự [14] đã tiến hành so sánh độ dai va đập giữa phần kim loại mối hàn so với vùng HAZ của mối hàn TiAl6V4 sử

dụng phương pháp GTAW. Kết quả thu được cho thấy, vùng kim loại mối hàn có tổ chức hạt thô hơn so với vùng HAZ và kim loại cơ bản, tuy nhiên độ cứng tế vi trong vùng này đạt giá trị cao nhất. Bên cạnh đó, độ dai va đập cũng cao hơn 50% so với các vùng khác là do giảm mạnh các hạt  $\alpha$  sơ cấp. Các hạt  $\alpha$  này thường là vị trí ưu tiên tạo mầm vi mô và cung cấp con đường thuận lợi cho sự lan truyền đứt gãy.

Trong nghiên cứu của J.L Barreda cùng cộng sự [15], nhóm tác giả sử dụng phương pháp hàn chùm tia điện tử (EBW) cho hợp kim TiAl6V4 và tìm cách cải thiện tính chất của các tấm hàn có chiều dày lớn (17mm) thông qua đánh giá ảnh hưởng của kim loại điện cực tới việc giảm sự hình thành lỗ hổng, giảm các yếu tố nhạy cảm với vết nứt. J.L Barreda nhận định, vùng kim loại mối hàn có độ bền cao hơn vùng HAZ do sự hình thành của mactenxit  $\alpha'$ . Bên cạnh đó, khi sử dụng tấm điện cực Ti grade 1 sẽ giúp cải thiện cơ tính của mối hàn TiAl6V4.

Một công trình nghiên cứu mang tính tổng hợp về ảnh hưởng của các phương pháp hàn như TIG, PAW, LBW và EBW và thành phần hợp kim của TiAl6V4 tới tổ chức và tính chất mối hàn đã được thực hiện bởi Sakari Tolvanen cùng cộng sự [3]. Khi áp dụng các phương pháp hàn khác nhau, tổ chức, kích thước và sự phân bố các pha tại các vùng là khác nhau. Sản phẩm quá trình hàn bằng TIG và PAW cho vùng hàn rộng, cấu trúc hạt  $\beta$  thô hơn so với các phương pháp khác. Phân tích bằng ảnh quang học và Xray cho thấy, kỹ thuật hàn TIG và LBW có độ xốp và kích thước lớn hơn EBW và PAW.

Trong các công trình nghiên cứu hiện nay mới chỉ tập trung vào nghiên cứu về ảnh hưởng của công nghệ hàn tới tổ chức và tính chất của mối hàn Titan hoặc hợp kim Titan chưa có nghiên cứu về mối hàn hai vật liệu khác loại. Những nghiên cứu này mới chỉ tập trung chủ yếu cho một loại dây bù là hợp kim Titan hoặc nghiên cứu về sự phá hủy của mối hàn. Như vậy, có thể thấy chưa có nghiên cứu về ảnh hưởng vật liệu bù đến mối hàn hai vật liệu khác loại nhau. Trong công trình này, tác giả sử dụng hai loại dây bù khác nhau để hàn Ti với TiAl6V4 bằng phương pháp hàn GTAW, sau đó đánh giá ảnh hưởng của chúng tới tổ chức và độ cứng của mối hàn. Những kết quả trình bày trong bài báo là những nghiên cứu ban đầu về sự biến đổi tổ chức và hình thành pha khi thực hiện quá trình hàn hai vật liệu khác nhau.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện trên hai loại vật liệu là Titan (grade 2) và hợp kim TiAl6V4. Thành phần hóa

học của kim loại cơ bản và dây bù được cho trong Bảng 1.

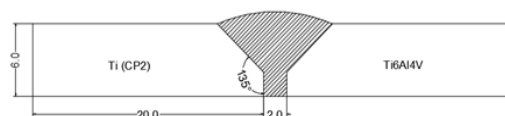
**Bảng 1. Thành phần hóa học của kim loại cơ bản và dây bù (% khối lượng)**

Mẫu	Thành phần	Ti	Al	V
1	Ti (Grade2)	>99,5		
2	TiAl6V4	90	5,5-6,5	3,5-4,5

Phương pháp hàn được sử dụng là hàn điện cực không nóng chảy dưới lớp khí bảo vệ (GTAW). Thông số công nghệ hàn được tham khảo dựa trên quy chuẩn hàn của nhà máy X56 và tài liệu [16] như sau:

- + Nguồn điện vào 380V;
- + Cường độ dòng điện:  $I_{\text{pulse}} = 150\text{A}$ ,  $I_{\text{crater}} = 70\text{A}$ ;
- + Điện cực: W-Th1  $\phi 2,4\text{ mm}$ ;
- + Lượng khí bảo vệ: 5lít/phút, áp suất 12Mpa;
- + Khí bảo vệ: Argon.

Quy cách vát mép và kích thước mối hàn được sử dụng theo tiêu chuẩn ISO 15614-1 của Hiệp hội Hàn thế giới và được đưa ra trong Hình 1.

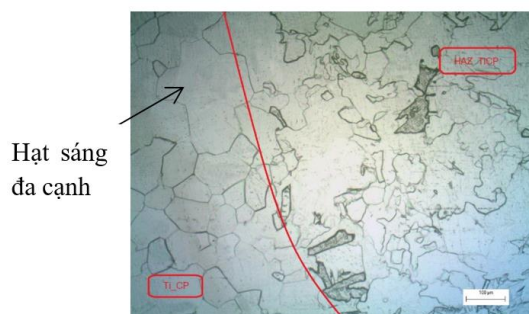


**Hình 1. Mẫu hàn Ti và hợp kim TiAl6V4**

Sau khi hàn, các mẫu được cắt nhỏ và phân tích tổ chức tế vi trên kính hiển vi quang học Leica MDS4000M và kính hiển vi điện tử quét FESEM Jeol JSM-7600F. Độ cứng tại các vùng khác nhau trong mối hàn được đo trên thiết bị đo độ cứng tế vi Mitutoyo.

## 3. Kết quả và bàn luận

### 3.1. Tổ chức tế vi mối hàn khi sử dụng dây bù Ti

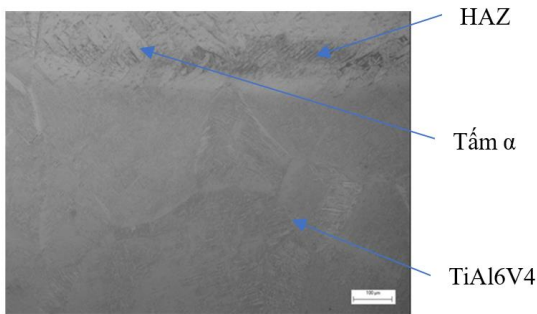


**Hình 2. Tổ chức tế vi vùng bị ảnh hưởng nhiệt và vùng kim loại mối hàn phía Ti khi sử dụng dây bù Ti**

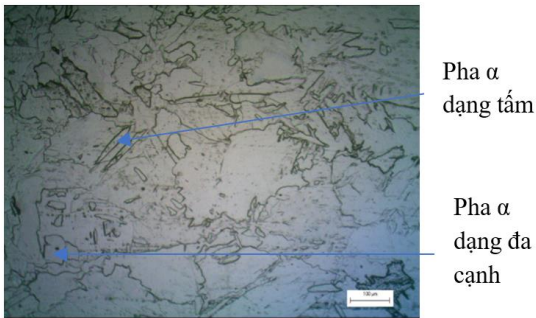
Phân tích tổ chức tế vi ở Hình 2 nhận thấy, tổ chức của kim loại cơ bản Ti là các hạt sáng đa cạnh, trong khi đó tổ chức ở vùng ảnh hưởng nhiệt là những hạt thô, hạt nhỏ xen kẽ lẫn nhau và không có dạng đa giác.

Phân tích tổ chức tế vi vùng ảnh hưởng nhiệt phía bên hợp kim TiAl6V4 cho thấy các tấm  $\alpha$  có kích thước thô hơn so với kim loại nền.

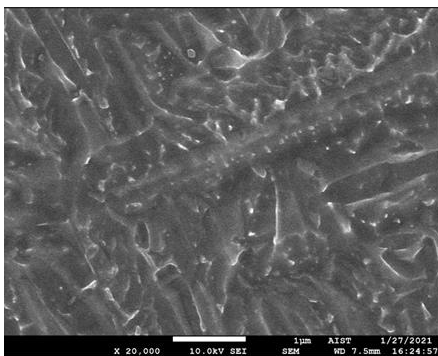
Phân tích tổ chức ở vùng mối hàn trên Hình 4 cho thấy là các hạt  $\alpha$  với hình dạng không đồng đều, có dạng tấm và dạng đa cạnh điều này đã được chỉ ra trên Hình 4 và theo như kết quả nghiên cứu của [12], [17], [18]. Kích thước các hạt cũng không đồng đều, hạt thô to cỡ  $100\mu\text{m}$  còn các hạt nhỏ cỡ  $20\mu\text{m}$  đến  $30\mu\text{m}$ . Nhận thấy, hạt có kích thước càng lớn sẽ làm giảm cơ tính của vật liệu, do vậy cơ tính của vùng này sẽ không đồng đều.



**Hình 3. Tổ chức tiếp giáp vùng HAZ và kim loại nền phía TiAl6V4**

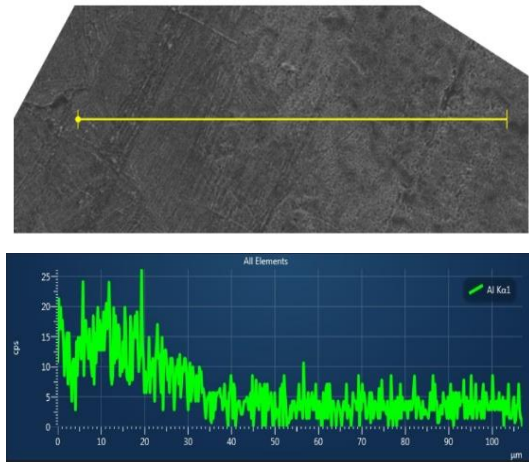


**Hình 4. Tổ chức tế vi vùng mối hàn với dây bù Ti**



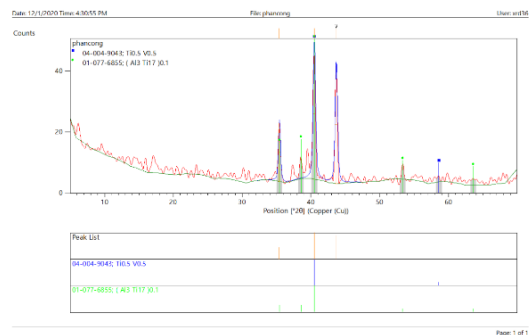
**Hình 5. Phân tích ảnh SEM vùng mối hàn với dây bù**

Để làm rõ hơn các pha hình thành trong vùng kim loại mối hàn, kết quả phân tích SEM trên Hình 5 đã quan sát thấy các pha  $\alpha$  dạng tấm phiến theo cùng một hướng hoặc đa hướng có chiều dày khoảng  $0,2\mu\text{m}$ - $0,3\mu\text{m}$ .



**Hình 6. Phân tích EDS lines vùng mối hàn với dây bù Ti**

Hình 6 biểu diễn kết quả EDS line nhằm phân tích sự thay đổi thành phần của Al từ phía kim loại cơ bản nền TiAl6V4 sang vùng kim loại mối hàn sử dụng điện cực Ti. Nhận thấy, thành phần của Al ở phía mối hàn và kim loại cơ bản là không đổi (đồ thị nằm ngang); trong khi tại vùng biên giới nóng chảy, hàm lượng của Al giảm dần và hình thành nên vùng chuyển tiếp trong mối hàn. Điều này được giải thích dựa trên sự khuếch tán của vùng kim loại lỏng. Trong quá trình hàn, dòng hồ quang sẽ làm nóng chảy cả kim loại cơ bản và vật liệu bù cùng một lúc, do đó vùng chuyển tiếp sẽ xảy ra sự khuếch tán, hòa trộn thành phần hóa học của hai loại vật liệu điều này cũng đã được các công trình nghiên cứu về quá trình hàn thể hiện [17], [19], [20].

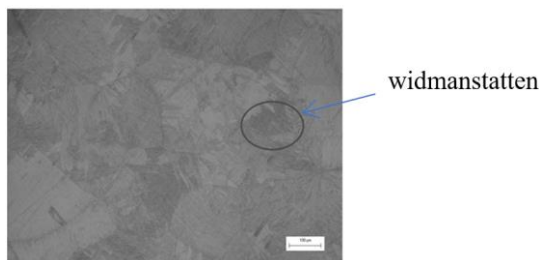


**Hình 7. Phân tích XRD tại vùng tiếp giáp vùng hàn và hợp kim TiAl6V4**

Bên cạnh đó, do sự khác nhau về thành phần hóa học của nhôm đã dẫn đến sự thay đổi về mặt tổ chức và tính chất trong vùng này như đã phân tích ở trên. Theo kết quả phân tích XRD (Hình 7) đã tìm thấy pha liên kim Al<sub>3</sub>Ti<sub>17</sub> tại vùng chuyển tiếp của mối hàn. Việc xuất hiện các pha liên kim có giá trị độ cứng cao sẽ góp phần tăng giá trị độ cứng ở khu vực mối hàn và vùng chuyển tiếp của mối hàn.

**3.2. Tổ chức tế vi khi sử dụng dây bù là hợp kim TiAl6V4**

Tổ chức thu được sau khi hàn có sự thay đổi về kích thước hạt và sự hình thành các pha. Tại gần biên giới nóng chảy hạt có kích thước lớn hơn, sau đó giảm dần về phía kim loại cơ bản. Các pha có hình thái Ti $\alpha$ , Ti $\beta$ , và vùng có hình thái cấu trúc như widmanstatten được tìm thấy tại các vị trí khác nhau trong vùng HAZ và vùng hàn. Sự thay đổi kích thước hạt và tổ chức trong vùng HAZ là do các chuyển biến khi hàn và làm nguội mối hàn. Trong quá trình hàn, các vị trí gần biên giới nóng chảy chịu ảnh hưởng nhiệt nhiều hơn. Kích thước hạt vùng HAZ có xu hướng lớn lên, biên giới hạt có xu hướng co lại tạo ra các đường cong mềm mại hơn dưới ảnh hưởng của nhiệt độ khi hàn.



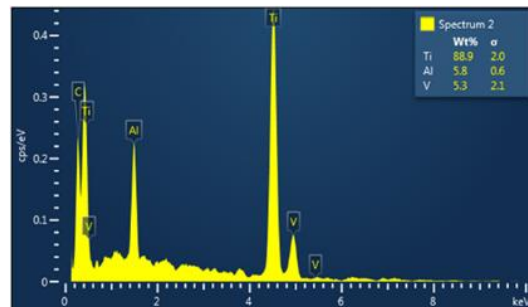
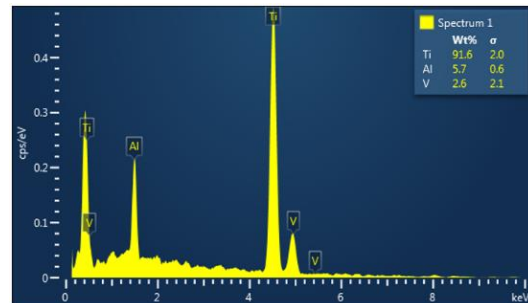
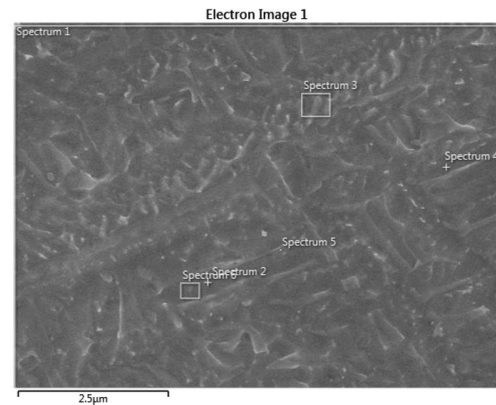
Hình 8. Tổ chức tế vi vùng mối hàn của TiAl6V4

Phân tích kết quả EDS điểm cho thấy với các vùng tâm có pha sáng thì kết quả khá tương đồng. Có thể thấy sự thay đổi này là do sự thay đổi thành phần khi kim loại nóng chảy trong quá trình hàn tại vị trí tiếp giáp của vùng hàn và kim loại cơ bản. Còn spectrum 2 ở pha tối thì có lượng V cao hơn hẳn (5,3 so với 2,6).

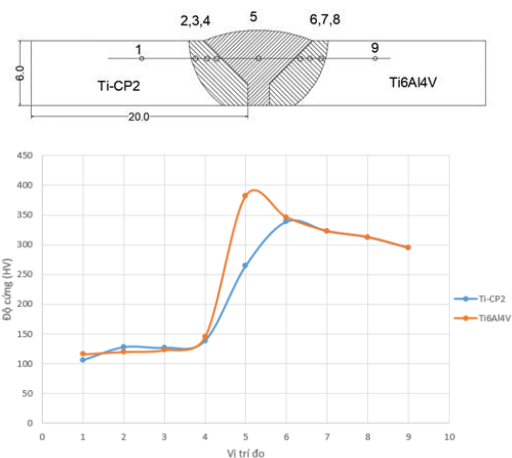
**3.3. Phân tích giá trị độ cứng**

Từ kết quả phân tích độ cứng tế vi (Hình 10) nhận thấy, độ cứng của mẫu 2 (vật liệu bù là TiAl6V4) từ vùng nền Ti sang nền TiAl6V4 có sự thay đổi đột ngột và chênh lệch hơn rất nhiều so với mẫu 1 (vật liệu bù là Ti).

Ở mẫu 2, độ cứng mối hàn thậm chí còn cao hơn cả nền TiAl6V4. Khi sử dụng vật liệu bù là TiAl6V4 thì tổ chức sau khi hàn là pha  $\alpha$ ,  $\beta$  và tổ chức dạng



Hình 9. Phân tích EDS điểm vùng mối hàn của TiAl6V4



Hình 10. Vị trí đo và kết quả phân tích độ cứng tế vi

widmanstatten. Mà pha  $\beta$  có độ cứng cao hơn nhiều so với pha  $\alpha$ . Và trong quá trình hàn, bản chất vật liệu bù hợp kim và kim loại nền bị nóng chảy và kết tinh giúp hình thành những pha liên kim; cấu trúc dạng widmanstatten có độ cứng cao sẽ làm tăng độ cứng ở vùng hàn.

Sự thay đổi về độ cứng cũng xảy ra ở mẫu 1, tuy nhiên sự chênh lệch là nhỏ hơn. Độ cứng ở vùng hàn là 265 HV đảm bảo không quá thấp và không quá cao để nối 2 phần Ti và TiAl6V4 có độ cứng chênh lệch lớn như trên. Nguyên nhân do sử dụng vật liệu bù là Ti nên sau khi hàn tổ chức là các hạt  $\alpha$ , vậy nên độ cứng sẽ thấp hơn.

#### 4. Kết luận

Sự thay đổi tổ chức của kim loại mối hàn thay đổi đáng kể so với tổ chức của kim loại ban đầu. Mối hàn chia thành 3 vùng: Vùng nóng chảy, vùng ảnh hưởng nhiệt và vùng kim loại cơ bản. Tổ chức tại vùng nóng chảy: Các hạt  $\alpha$  với hình dạng không đồng đều có dạng tấm và dạng đa giác. Kích thước các hạt cũng không đồng đều. Vùng ảnh hưởng nhiệt bên phía Ti: Tổ chức bị thay đổi đáng kể. Không còn là hạt  $\alpha$  đa giác ban đầu, mà biên hạt dịch chuyển mềm mại hơn, thay đổi và tạo ra các hạt có hình dạng rất khác lạ. Vùng ảnh hưởng nhiệt bên phía TiAl6V4: Các hạt  $\alpha$  dạng tấm trở nên thô hơn gấp nhiều lần. Có sự xuất hiện của pha mới Al3Ti17 được hình thành do sự khuếch tán trong quá trình hình thành.

Giá trị độ cứng lớn nhất được tìm thấy ở vùng tâm mối hàn (382HV) đối với dây bù hợp kim do sử dụng dây bù hợp kim hình thành pha liên kim cũng như dạng cấu trúc widmanstatten. Sử dụng vật liệu bù là Ti thì sự chênh lệch về độ cứng ít hơn, tạo nên sự đồng đều về cơ tính.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT21-22.95**.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C. Leyens and M. Peters., *Titanium and Titanium Alloys*. Wiley-VCH, 2003.
- [2] Y. M. Ahmed, K. Salleh, M. Sahari, and M. Ishak, *Welding of Titanium (Ti-6Al-4V) Alloys: A Review*, Natl. Grad. Conf. 2012 (NatGrad2012), Univ. Tenaga Nasional, Putrajaya Campus, 8-10 Nov 2012 Weld., Vol.2012, No.November, pp.8-10, 2012.
- [3] G. Lütjering and J. C. Williams, *Titanium: Engineering Materials and Processes*, Ed. SPRINGER, Vol. Second edi, 2007.
- [4] M. Peters and C. Leyens, *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*, Vol.1. 2003.
- [5] R. R. Boyer, *An overview on the use of titanium in the aerospace industry*, Mater. Sci. Eng. A, Vol.213, No.1-2, 1996.
- [6] C. T. Hsieh, C. Y. Chu, R. K. Shiue, and L. W. Tsay, *The effect of post-weld heat treatment on the notched tensile fracture of Ti-6Al-4V to Ti-6Al-6V-2Sn dissimilar laser welds*, Mater. Des., Vol.59, 2014.
- [7] T. Pasang, Y. Tao, M. Azizi, O. Kamiya, M. Mizutani, and W. Misiulek, *Welding of titanium alloys*, MATEC Web Conf., Vol.123, pp.1-8, 2017.
- [8] N. Eswara Prasath and R. Selva Bharathi, *Influence of Plasma Transfer Arc Cladding of NiCrBFe filler powder on microstructure and tensile properties of Titanium Grade 2 and Ti 6Al-4V alloy dissimilar joint prepared by laser beam welding*, Opt. Laser Technol., Vol.128, 2020.
- [9] K. Gangwar and M. Ramulu, *Friction stir welding of titanium alloys: A review*, Mater. Des., Vol.141, pp.230-255, 2018.
- [10] N. Singh, P. Hameed, R. Ummethala, G. Manivasagam, K. G. Prashanth, and J. Eckert, *Selective laser manufacturing of Ti-based alloys and composites: impact of process parameters, application trends, and future prospects*, Materials Today Advances, vol. 8. 2020.
- [11] G. Turichin, I. Tsibulsky, V. Somonov, M. Kuznetsov, and A. Akhmetov, *Laser-TIG Welding of Titanium Alloys*, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., Vol.142, No.1, 2016.
- [12] L. Weiss, J. Zollinger, P. Sallamand, E. Cicala, A. Mathieu, and E. Fleury, *Mechanical properties and microstructural study of homogeneous and heterogeneous laser welds in  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\alpha + \beta$  titanium alloys*, Weld. World, Vol.63, No.1, pp.53-62, 2019.
- [13] R. M. Baitimerov, P. A. Lykov, and L. V. Radionova, *Influence of heat treatment on microstructure and mechanical properties of selective laser melted TiAl6v4 alloy*, Solid State Phenom., Vol.284 SSP, pp.615-620, 2018.
- [14] W. Zhou and K. G. Chew, *Effect of welding on impact toughness of butt-joints in a titanium alloy*, Mater. Sci. Eng. A, Vol.347, No.1-2, 2003.

- [15] J. L. Barreda, F. Santamaría, X. Azpiroz, A. M. Irisarri, and J. M. Varona, *Electron beam welded high thickness Ti6Al4V plates using filler metal of similar and different composition to the base plate*, Vacuum, Vol.62, No.2-3, 2001.
- [16] N. L. Thông, *Công nghệ hàn các kim loại có hoạt tính cao và nhiệt độ nóng chảy cao*, 2005.
- [17] S. Tolvanen, *Welding of Ti-6Al-4V: Influence of welding process and alloy composition on microstructure and properties*. Doctoral thesis, 2018.
- [18] S. Tolvanen, *Microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V welds produced with different processes*, pp.12-21, 2016.
- [19] A. Abdollahi, A. S. A. Huda, and A. S. Kabir, *Microstructural characterization and mechanical properties of fiber laser welded CP-Ti and Ti-6Al-4V similar and dissimilar joints*, Metals (Basel), Vol.10, No.6, 2020.
- [20] American Welding Society, *Specification for Titanium and Titanium-Alloy Welding Electrodes and Rods 6th Edition*. 2013.

Ngày nhận bài:	04/03/2022
Ngày nhận bản sửa:	14/03/2022
Ngày duyệt đăng:	23/03/2022